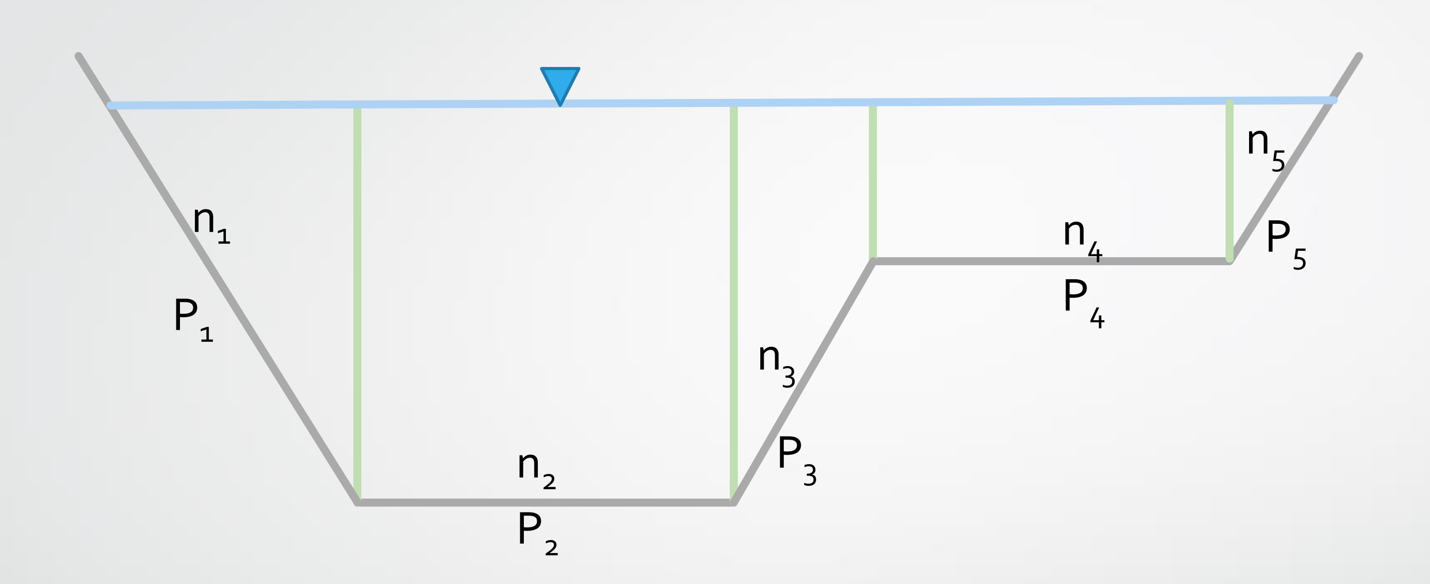
Canales con varias rugosidades

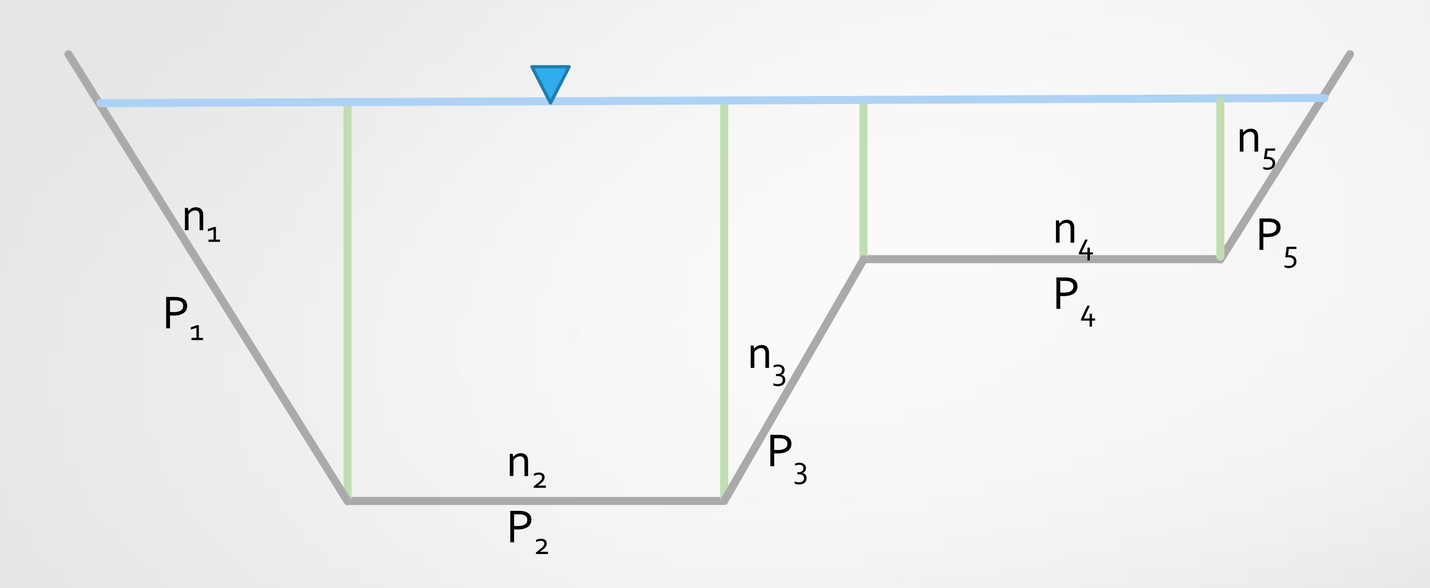
Hidráulica Básica y Laboratorio

Canales con varias rugosidades



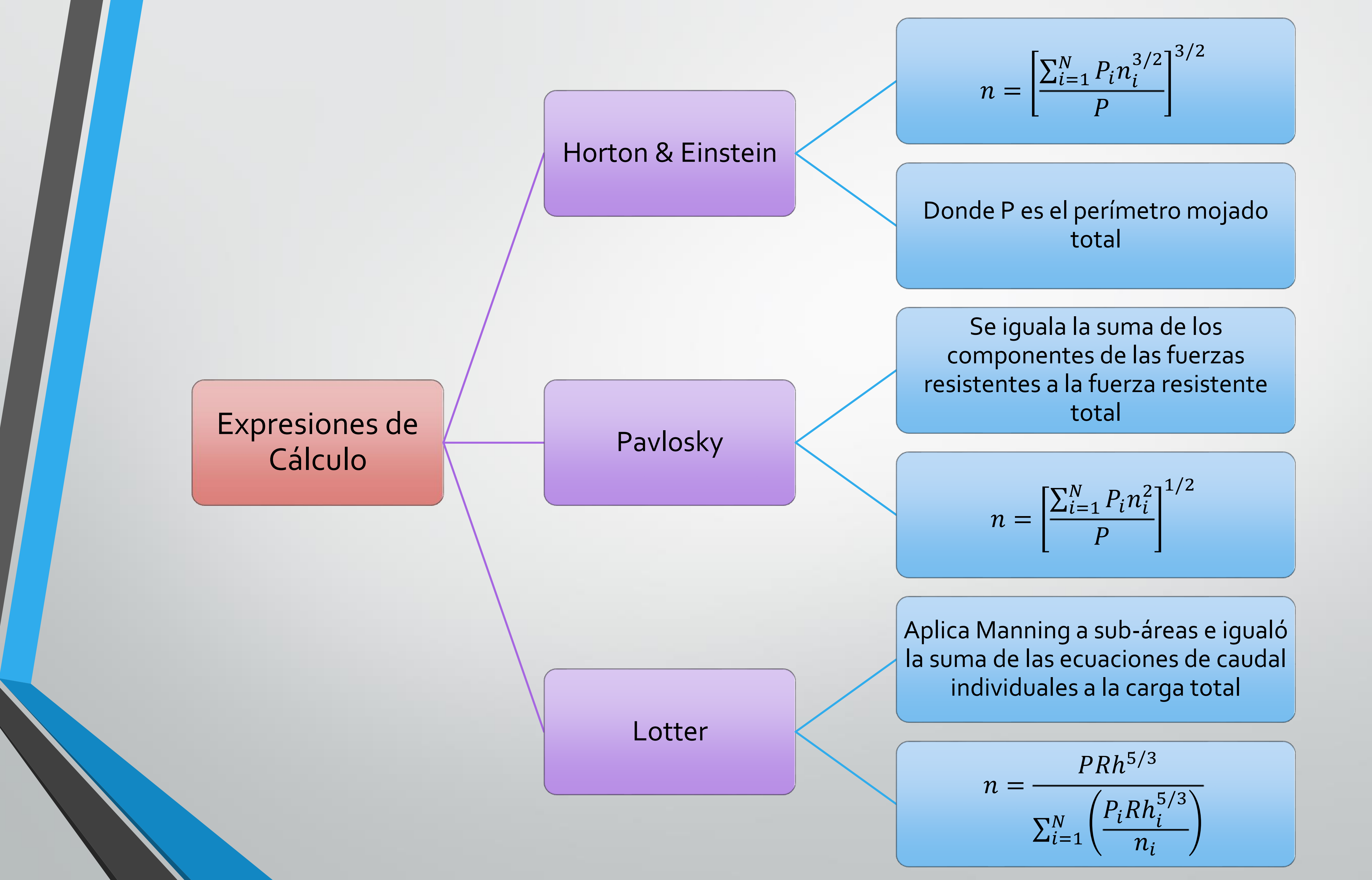
Si un canal tiene varias rugosidades, el cálculo de la velocidad y el caudal se lo realiza con un coeficiente de rugosidad equivalente que es válido para toda la sección transversal.

Canales con varias rugosidades

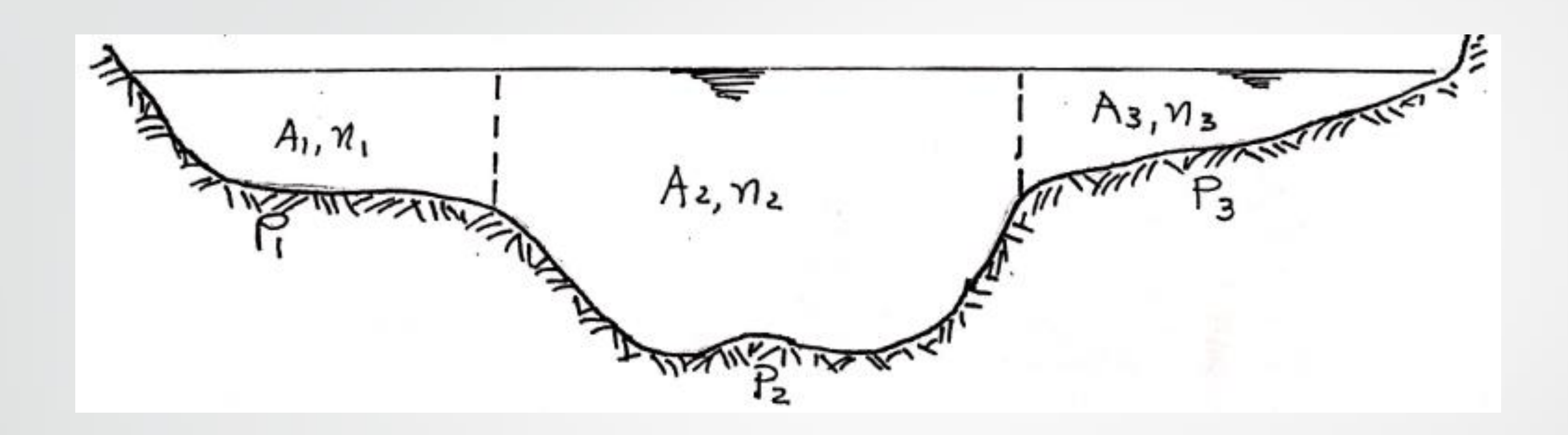


Procedimiento:

1. Dividir el área mojada en n partes con perímetros mojados P_1, P_2..., P_N, con varios coeficientes de rugosidad n_1, n_2..., n_N.
2. Asumir que cada sub-área tiene una velocidad igual a la velocidad media


Expresiones de Cálculo
Horton & Einstein
$$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} P_i n_i^{3/2}}{P}\right]^{3/2}$$
Donde P es el perímetro mojado total
Pavlosky
Se iguala la suma de los componentes de las fuerzas resistentes a la fuerza resistente total
$$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} P_i n_i^{2}}{P}\right]^{1/2}$$
Lotter
Aplica Manning a sub-áreas e igualó la suma de las ecuaciones de caudal individuales a la carga total
$$n = \frac{P R h^{5/3}}{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{P_i R h_i^{5/3}}{n_i}\right)}$$

Secciones Compuestas en Canales



Ejemplo típico: canal natural con planicies de inundación. El coeficiente de rugosidad (n) de las secciones de inundación son diferentes del canal principal.

El método de análisis consiste en considerar el caudal total como la suma de las descargas parciales calculada con la ecuación de Manning, asumiendo que la pendiente del canal es la misma en toda la sección longitudinal.

$$Q = \left(\frac{A_1}{n_1} Rh_1^{2/3} + \frac{A_2}{n_2} Rh_2^{2/3} + \frac{A_3}{n_3} Rh_3^{2/3}\right) I_o^{1/2}$$

Diseño de Canales Abiertos

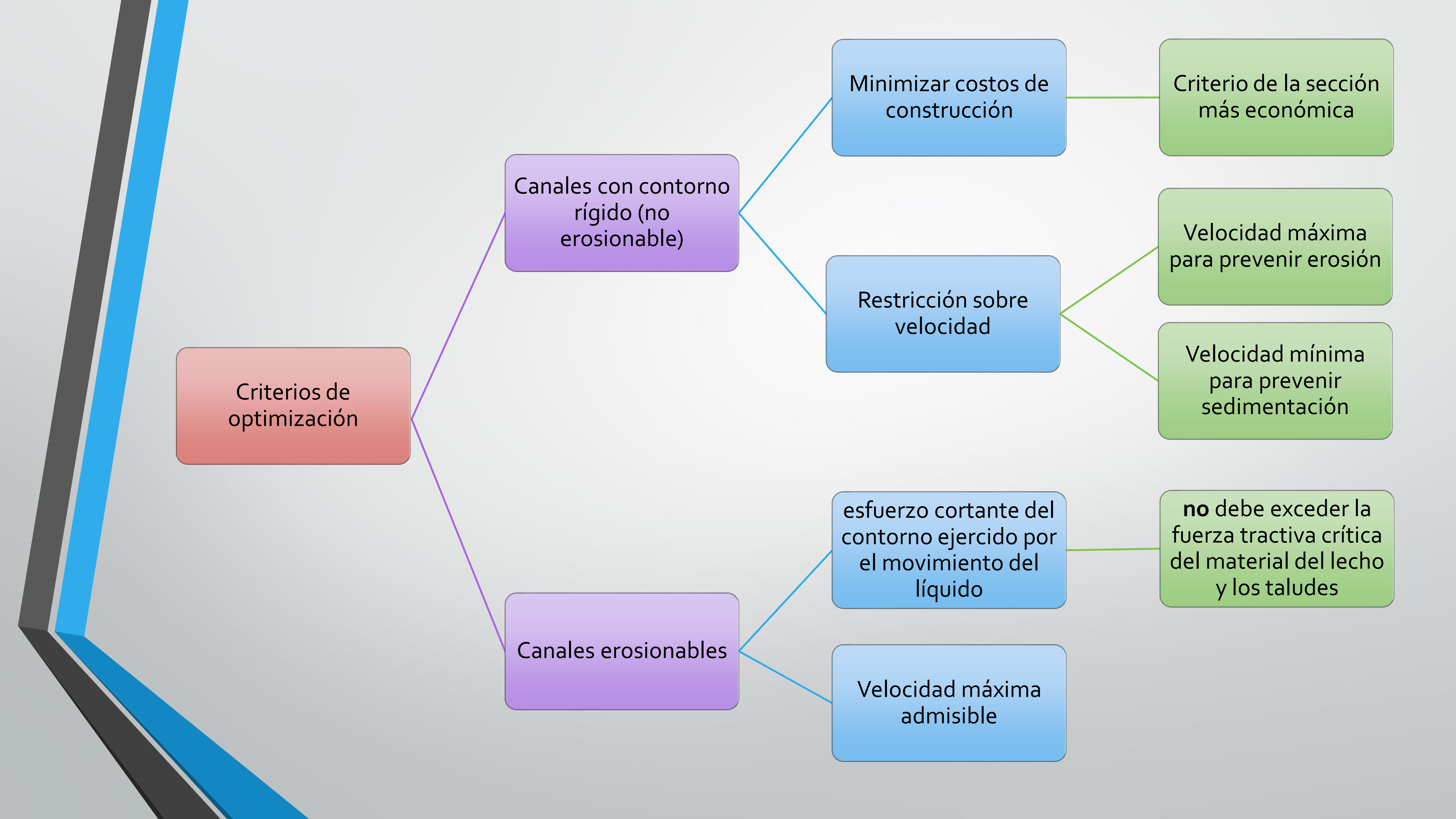
El objetivo es determinar la sección transversal que pueda conducir la mayor descarga posible

La pendiente de la solera está restringida por la topografía de la zona donde será construido

Las expresiones más utilizadas son las de Manning, Chezy y Darcy (ecuaciones de resistencia al flujo)

Se necesita otras funciones para determinar la relación entre el ancho y el calado (y/b)

Se pueden incorporar criterios de diseño de optimización



Criterios de optimización
Canales con contorno rígido (no erosionable)
Minimizar costos de construcción
Criterio de la sección más económica
Restricción sobre velocidad
Velocidad máxima para prevenir erosión
Velocidad mínima para prevenir sedimentación
Canales erosionables
esfuerzo cortante del contorno ejercido por el movimiento del líquido
no debe exceder la fuerza tractiva crítica del material del lecho y los taludes
Velocidad máxima admisible

Canales de contorno rígido: sección económica

- Usando la ecuación de Darcy – Weisback:

$$Q = A\sqrt{\frac{8g}{\lambda}\frac{A}{P}I_o} = k\frac{A^{3/2}}{P^{1/2}} \qquad \mathrm{A = f(y); P = f(y)}$$

- $Q_{máx}$ se alcanza cuando:

$$\frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad \Longrightarrow \quad \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A^3}{P}\right) = 0$$

$$\frac{3A^2}{P}\frac{\partial A}{\partial y} - \frac{A^3}{P^2}\frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

$$3P\frac{\partial A}{\partial y} - A\frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

Canales de contorno rígido: sección económica

- Para un área dada: A = cte

$$\frac{\partial A}{\partial y} = 0$$

- Para obtener el $Q_{máx}$:

$$\frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

- Esta condición significa que el perímetro de la sección debe ser mínimo.

Canales de contorno rígido: sección económica

- Para un área dada fija:

$$A = yb + my^2 \quad \Longrightarrow \quad b = \frac{A}{y} - my$$

$$P = \frac{A}{y} - my + 2y\sqrt{m^2 + 1}$$

- Para obtener el $Q_{máx}$:

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{A}{y} - my + 2y\sqrt{m^2 + 1}\right) = 0$$

$$-\frac{A}{y^2} - m + 2\sqrt{m^2 + 1} = 0$$

$$-\frac{yb + my^2}{y^2} - m + 2\sqrt{m^2 + 1} = 0$$

Canales de contorno rígido: sección económica

$$\frac{-yb - my^2 - my^2 + 2y^2\sqrt{m^2+1}}{y^2} = 0$$

$$-yb - 2my^2 + 2y^2\sqrt{m^2+1} = 0$$

$$b + 2my = 2y\sqrt{m^2+1}$$

- Se puede demostrar que si un semicírculo de radio "y" se traza con su centro en la superficie del líquido, este es tangencial a los lados y al lecho → la sección más económica se aproxima hacia una sección circular la que es considerada a tener el menor perímetro para un área dada.

Canales de contorno rígido: sección económica

- Para una sección trapezoidal:

$$b = 2y\left(\sqrt{m^2+1} - m\right)$$

- Para una sección rectangular: (m = o)

$$b + 2\cancel{my} = 2y\sqrt{\cancel{m^2}+1}$$

$$b = 2y$$

Sección transversal	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
Trapecio, medio hexágono	$\sqrt{3}\,y^2$	$2\sqrt{3}\,y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{4}{3}\sqrt{3}\,y$	$\frac{3}{4}y$	$\frac{3}{2}y^{2.5}$
Rectángulo, medio cuadrado	$2y^2$	$4y$	$\frac{1}{2}y$	$2y$	y	$2y^{2.5}$
Triángulo, medio cuadrado	y^2	$2\sqrt{2}\,y$	$\frac{1}{4}\sqrt{2}\,y$	$2y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}y^{2.5}$
Semicírculo	$\frac{\pi}{2}y^2$	πy	$\frac{1}{2}y$	$2y$	$\frac{\pi}{4}y$	$\frac{\pi}{4}y^{2.5}$
Parábola $T = 2\sqrt{2}\,y$	$\frac{4}{3}\sqrt{2}\,y^2$	$\frac{8}{3}\sqrt{2}\,y$	$\frac{1}{2}y$	$2\sqrt{2}\,y$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{8}{9}\sqrt{3}\,y^{2.5}$
Catenaria hidrostática	$1.39586y^2$	$2.9836y$	$0.46784y$	$1.917532y$	$0.72795y$	$1.19093y^{2.5}$

Canales con contornos erosionables

Para el diseño de canales erosionables se utilizan dos criterios fundamentales: la *teoría de la fuerza tractiva crítica* y el la *velocidad máxima admisible*.

- **Teoría de la fuerza tractiva crítica**

La fuerza tractiva es la fuerza ejercida por el movimiento del agua en contacto con el fondo y paredes del canal.

La fuerza tractiva unitaria promedio es el promedio del esfuerzo cortante ejercido por el flujo sobre la pared de resistencia:

$$\overline{\tau_o} = \rho g R h I_o$$

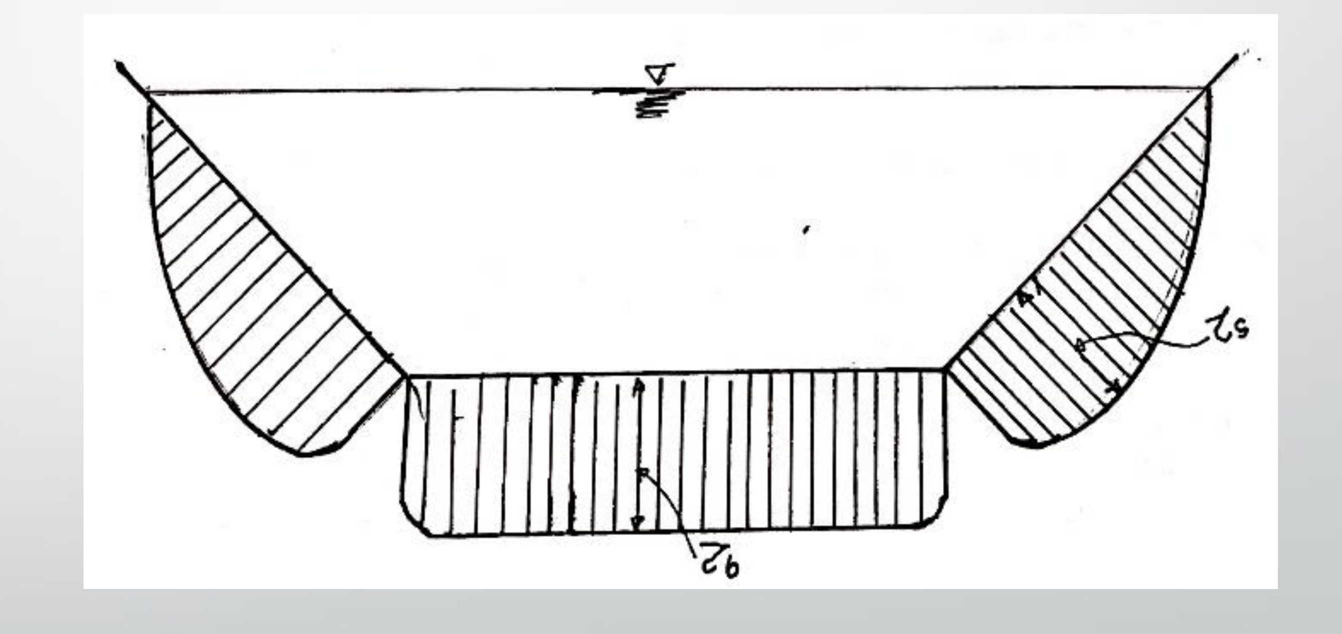


www.bonjourlafrance.com

Canales con contornos erosionables

El esfuerzo cortante en la superficie de contacto no es uniforme, y su distribución varía más con la forma del canal que con sus dimensiones.

Para una sección trapezoidal, el máximo esfuerzo cortante sobre el lecho del canal puede calcularse como $\rho g y I_o$ y sobre los taludes laterales como una fracción de éste y es $0{,}77 \rho g y I_o$



Canales con contornos erosionables

- **Canal Estable:** aquel canal en el cual se mantiene el esfuerzo cortante bajo (el esfuerzo que causará que el material se desplace o mueva).
- **Fuerza Tractiva Crítica de una Partícula:** es la fuerza tractiva unitaria que no causará remoción (erosión) de las partículas sobre una superficie horizontal (fondo del canal).
- **Para el caso de los taludes:** el material está sujeto al esfuerzo cortante debido al flujo y a la componente de la fuerza de gravedad debida a la inclinación del talud del canal.



www.tenax.net



www.tenax.net

Canales con contornos erosionables

- Si: τ_{cb} es la fuerza tractiva crítica; el **máximo esfuerzo cortante crítico** debido al flujo de agua en los lados del canal es:

$$\tau_{cs} = \tau_{cb}\sqrt{1 - \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\phi}}$$

θ: inclinación de los lados del canal con relación a la horizontal

ϕ: ángulo de reposo del material

Canales con contornos erosionables

- **Velocidades medias máximas permisibles:** concepto muy incierto ya que el calado del agua tiene su influencia sobre el esfuerzo cortante del fondo del canal.

Los valores de la tabla 6.2 son válidos para canales con pendientes pequeñas y calados menores a 1 m.



www.solucionesespeciales.net

Tabla 6.2 Fuerzas tractivas críticas y velocidades medias para diferentes materiales del lecho.

Material	Tamaño mm	Fuerza tractiva crítica N/m²	Velocida media aproxima da (m/s)	Coef. de rugosi-dad de Manning n
Tierra negra arenosa (no coloidal)		2.0	0.50	0.020
Tierra negra limosa (no coloidal)		2.5	0.60	0.020
Limo aluvial.no coloi		2.5	0.60	0.020
Tierra negra ordinar.		3.7	0.75	0.020
Ceniza volcánica		3.7	0.75	0.020
Arcilla(muy coloidal)		1.22	1.15	0.025
Limo aluvial.coloidal		12.2	1.15	0.025
Arena fina. no-coloi.	.062-.25	1.2	0.45	0.020
Arena media.no-coloi.	.25-.50	1.7	0.50	0.020
Arena gruesa.no-coloi	.50-2.0	2.5	0.60	0.020
Grava fina	4-8	3.7	0.75	0.020
Grava gruesa	8-64	14.7	1.25	0.025
Cantos rodado y ripio	64 - 256	44.0	1.55	0.035
Cantos rodados y tie-rra negra graduada. (no coloidales)	.004-64	19.6	1.15	0.30
Cantos rodados y limo graduados (coloidales)	0 - 64	22.0	1.25	0.30
Pizarras		31.8	1.85	0.025

Referencias

- Ven Te Chow, Hidráulica de Canales abiertos
- Krochin S, Diseño hidráulico
- Haro P, Clases Hidráulica Básica (2016-A)